

Schlaglicht: Radiologie

Photon-counting-CT: eine neue Ära in der radiologischen Bildgebung

Die kürzlich entwickelte Photon-counting-Computertomographie zeichnet sich durch eine bisher unerreichte räumliche Auflösung und inhärente spektrale Eigenschaften bei maximaler zeitlicher Auflösung aus. Wird sie unseren Blick auf Anatomie und Pathologie nachhaltig verändern?

Dr. med. Victor Mergen*, Prof. Dr. med. Hatem Alkadhi*

Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Universitätsspital Zürich, Universität Zürich, Zürich

* für die Schweizerische Gesellschaft für Radiologie (SGR-SSR)

Hintergrund

Die Computertomographie (CT) stellt eine in der modernen Diagnostik unverzichtbare bildgebende Modalität dar. Dedizierte Untersuchungsprotokolle ermöglichen heute eine rasche, umfassende und präzise Abklärung verschiedener Krankheitsbilder. So können beispielsweise ausgedehnte Krebsleiden oder kardiovaskuläre Erkrankungen mit einer hohen diagnostischen Genauigkeit abgebildet und beurteilt werden. Während in den letzten Jahren vermehrt eine Optimierung vorhandener CT-Technik stattgefunden hat mit dem Resultat einer schnelleren Bildakquisition, einer höheren zeitlichen Auflösung, geringerer Strahlendosen und kleinerer Kontrastmittelmengen, gab es aufseiten der Detektoren relativ wenige Entwicklungen. Mit der kürzlichen Einführung des ersten Photonen zählenden Computertomographen hält ein vollständig neues Detektordesign Einzug in den klinischen Alltag.

Technische Prinzipien

Die Bildakquisition bei der CT erfolgt über eine kontinuierlich rotierende Röntgenröhre und einen gegenüberliegenden Detektor. Die durch die zu untersuchende Person geschwächten Röntgenstrahlen werden von den Detektoren ausgelesen. Photon-counting-Detektoren bestehen aus einem Halbleiter (zum Beispiel Cadmium-Tellurid), an den eine hohe Spannung angelegt ist und der die Energie jedes einzelnen Pulses misst. Die detektierten Photonen werden unterschiedlichen Energie-

niveaus zugeordnet, wodurch eine inhärente spektrale Auslesung erfolgt [1].

Der direkte Konversionsprozess der auftreffenden Photonen zu einem elektrischen Signal ermöglicht zudem die Verwendung sehr kleiner Detektorelemente. Dadurch erlaubt die Photon-counting-CT die Bildaufnahme in einem ultrahochauflösenden («ultra-high resolution») Modus. In diesem Modus werden die kleinsten Detektorelemente einzeln ausgelesen, wodurch eine beispiellose räumliche Auflösung von 0,11 mm in der Ebene erreicht wird [2, 3].

Spektrale Bildgebung

Neben der verbesserten Bildqualität mit niedrigerem Rauschen und höherem Bildkontrast, die zu einer Reduktion der Strahlendosis und/oder einer Reduktion der verwendeten Menge an Kontrastmittel genutzt werden kann [4, 5], ermöglicht die spektrale Bildgebung mit der Photon-counting-CT eine Reduktion von Bildartefakten wie zum Beispiel durch metallische Fremdkörper.

Die spektrale Materialzerlegung erlaubt zum Beispiel auch, das im Bild befindliche jodhaltige Kontrastmittel herauszurechnen, sodass virtuelle Bilder entstehen. Somit kann auf eine echt native Phase verzichtet und erheblich Strahlendosis eingespart werden [6] (Abb. 1A).

Umgekehrt kann die Verteilung des Kontrastmittels im Gewebe dargestellt und quantifiziert werden. Zum Beispiel gelingt mit der Photon-counting-CT die zuverlässige Darstel-

lung des extrazellulären Volumens im Herzmuskel, das als Folge von Infarkten oder Fibrosen erhöht ist [7].

Eine weitere, sehr spannende Anwendung der spektralen Bildgebung mit der Photon-counting-CT liegt in der Subtraktion von verkalkten Plaques bei maximaler zeitlicher Auflösung, die vor allem in der kardiovaskulären Radiologie essentiell ist. Es ist bekannt, dass vor allem in kleinen Gefässen wie den Koronararterien stark verkalkte Plaques zu einer Überschätzung der Stenosen führen können. Erste Phantomexperimente mit der spektralen Photon-counting-CT deuten darauf hin, dass dieses Problem deutlich reduziert werden kann und somit auch Koronararterien mit starken Verkalkungen einer präzisen Diagnostik zugänglich gemacht werden können [8] (Abb. 1B). Momentan laufen vielerorts Patientenstudien, die die diagnostische Genauigkeit dieses neuen Algorithmus im Vergleich zum Herzkatheter aufzeigen werden.

Ultrahochauflösende Bildgebung

Der ultrahochauflösende Modus der Photon-counting-CT ermöglicht die Rekonstruktion von Bildern mit einer sehr hohen Ortsauflösung. Hierdurch werden Partialvolumeneffekte deutlich reduziert und auch kleinste anatomische Strukturen im Submillimeterbereich können visualisiert werden. Diese Bilder sind wertvoll für die Beurteilung einer Pathologie wie zum Beispiel der Gehörknöchelchen, subtiler Osteolysen, interstitieller Lungenparenchym-

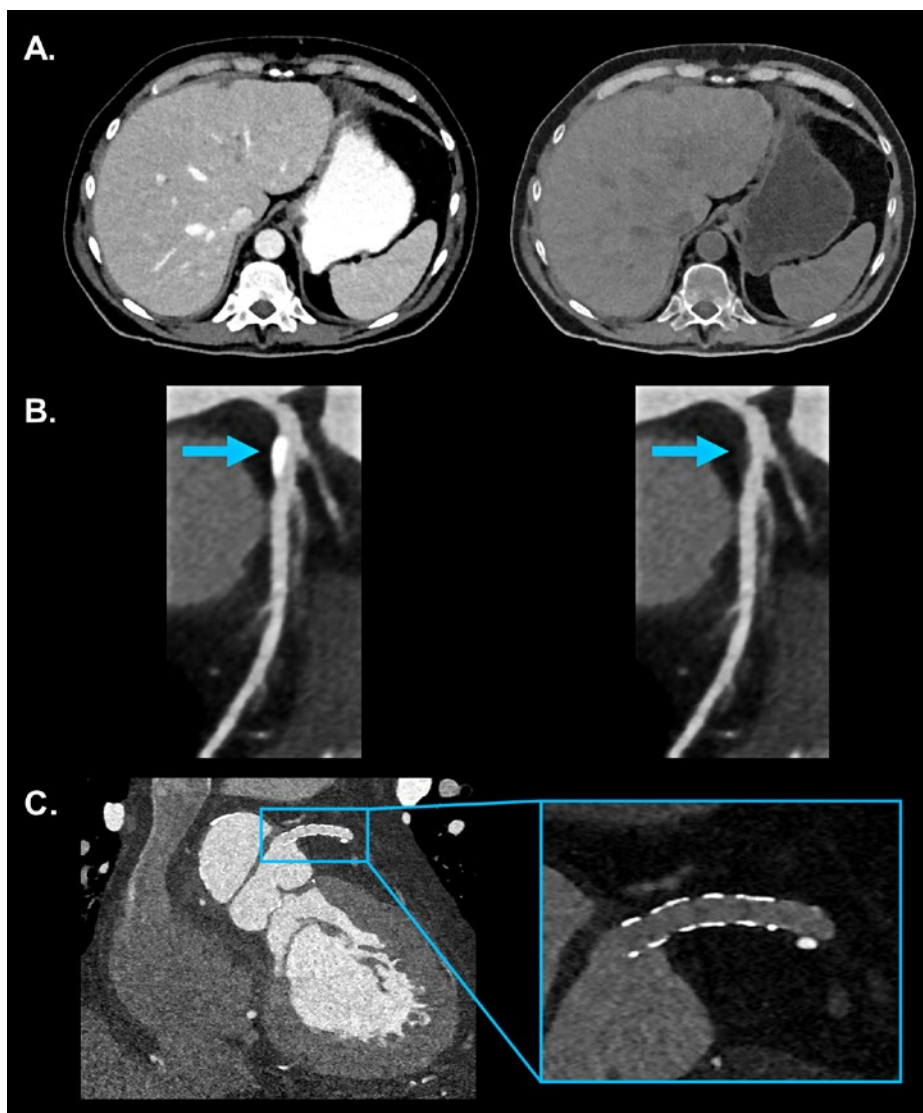


Abbildung 1: Spektrale Anwendungen der Photon-counting-CT ermöglichen es, aus einer kontrastmittelverstärkten Abdomen-CT mit oralem und intravenösem Kontrastmittel (A, linkes Bild) ein virtuell natives Bild (A, rechtes Bild) zu rekonstruieren und somit auf eine native Bildakquisition zu verzichten. Sie erlaubt auch eine Materialzerlegung und dadurch eine Subtraktion von verkalkten Plaques (B, linkes Bild mit einer verkalkten Plaque im distalen Hauptstamm / in proximaler RIVA; B, rechtes Bild ohne die Plaque). Es zeigt sich im Bild links, dass das Gefässlumen nur minimal stenosierte ist. Der ultrahochauflösende Modus der Photon-counting-CT liefert eine exzellente Qualität zur Beurteilung des Lumens auch kleiner Stents (C).

CT: Computertomographie; RIVA: Ramus interventricularis anterior (der Arteria coronaria sinistra).

veränderungen oder des Lumens kleiner Stents [2, 3, 9–11] (Abb. 1C).

Zusammenfassung

Die inhärenten spektralen Eigenschaften der Photon-counting-CT ermöglichen es, Pathologien nicht nur anhand ihres Schwächungsverhaltens zu charakterisieren, sondern zunehmend auch zu differenzieren und zu quantifizieren. Darüber hinaus besticht der ultrahochauflösende Modus durch die Darstellung von bisher schwer zu beurteilenden kleinen Strukturen in hervorragender Qualität. Die Photon-counting-CT stellt den nächsten grossen Schritt zu einer präziseren und weiter personalisierten Bildgebung dar.

Korrespondenz

Prof. Dr. med. Hatem Alkadhi
Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie
Universitätsspital Zürich
Rämistrasse 100
CH-8091 Zürich
hatem.alkadhi[at]usz.ch

Disclosure Statement

HA hat deklariert, Institutionale Grants von Bayer, Canon, Guerbet und Siemens sowie Zuschüsse für die Teilnahme an einem Speakers Bureau von Siemens erhalten zu haben. MV hat angegeben, keine potentiellen Interessenskonflikte zu haben.



Dr. med. Victor Mergen

Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Universitätsspital Zürich, Universität Zürich, Zürich

Literatur

- Flohr T, Petersilka M, Henning A, Ulzheimer S, Ferda J, Schmidt B. Photon-counting CT review. *Phys Med*. 2020;79:126–36.
- Mergen V, Sartoretti T, Baer-Beck M, Schmidt B, Petersilka M, Wildberger JE, et al. Ultra-High-Resolution Coronary CT Angiography With Photon-Counting Detector CT: Feasibility and Image Characterization. *Invest Radiol*. 2022;57(12):780–8.
- Benson JC, Rajendran K, Lane JI, Diehn FE, Weber NM, Thorne JE, et al. A New Frontier in Temporal Bone Imaging: Photon-Counting Detector CT Demonstrates Superior Visualization of Critical Anatomic Structures at Reduced Radiation Dose. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2022;43(4):579–84.
- Euler A, Higashigaito K, Mergen V, Sartoretti T, Zanini B, Schmidt B, et al. High-Pitch Photon-Counting Detector Computed Tomography Angiography of the Aorta: Intraindividual Comparison to Energy-Integrating Detector Computed Tomography at Equal Radiation Dose. *Invest Radiol*. 2022;57(2):115–21.
- Higashigaito K, Euler A, Eberhard M, Flohr TG, Schmidt B, Alkadhi H. Contrast-Enhanced Abdominal CT with Clinical Photon-Counting Detector CT: Assessment of Image Quality and Comparison with Energy-Integrating Detector CT. *Acad Radiol*. 2022;29(5):689–97.
- Mergen V, Racine D, Jungblut L, Sartoretti T, Bickel S, Monnin P, et al. Virtual Noncontrast Abdominal Imaging with Photon-counting Detector CT. *Radiology*. 2022;305(1):107–15.
- Mergen V, Sartoretti T, Klotz E, Schmidt B, Jungblut L, Higashigaito K, et al. Extracellular Volume Quantification With Cardiac Late Enhancement Scanning Using Dual-Source Photon-Counting Detector CT. *Invest Radiol*. 2022;57(6):406–11.
- Allmendinger T, Nowak T, Flohr T, Klotz E, Hagenauer J, Alkadhi H, Schmidt B. Photon-Counting Detector CT-Based Vascular Calcium Removal Algorithm: Assessment Using a Cardiac Motion Phantom. *Invest Radiol*. 2022;57(6):399–405.
- Jungblut L, Euler A, von Spiczak J, Sartoretti T, Mergen V, Englmaier V, et al. Potential of Photon-Counting Detector CT for Radiation Dose Reduction for the Assessment of Interstitial Lung Disease in Patients With Systemic Sclerosis. *Invest Radiol*. 2022;57(12):773–9.
- Si-Mohamed SA, Boccalini S, Lacombe H, Diaw A, Varasteh M, Rodesch PA, et al. Coronary CT Angiography with Photon-counting CT: First-In-Human Results. *Radiology*. 2022;303(2):303–13.
- Baffour FI, Huber NR, Ferrero A, Rajendran K, Glazebrook KN, Larson NB et al. Photon-counting Detector CT with Deep Learning Noise Reduction to Detect Multiple Myeloma. *Radiology*. 2023;306(1):229–36.